

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/326258599>

CYCLES DIURNES DE RAYONNEMENT SOLAIRE ET FORETS EN AFRIQUE CENTRALE

Conference Paper · July 2018

CITATIONS

0

READS

59

11 authors, including:



Guillaume Cornu

Cirad - La recherche agronomique pour le développement

45 PUBLICATIONS **354** CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Valéry Gond

Cirad - La recherche agronomique pour le développement

203 PUBLICATIONS **1,759** CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Lou Monteil

Laval University

4 PUBLICATIONS **0** CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Vincent Moron

Aix-Marseille Université

171 PUBLICATIONS **2,873** CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



ECCLAIRA [View project](#)



Agro-forestry activities and natural resources in Madagascar [View project](#)

CYCLES DIURNES DE RAYONNEMENT SOLAIRE ET FORETS EN AFRIQUE CENTRALE

PHILIPPON N.¹, CORNU G.², GOND V.², MONTEIL L.³, MORON V.⁴, PERGAUD J.⁵, SEZE G.⁶, BIGOT S.¹, CAMBERLIN P.⁵, DOUMENGE C.², FAYOLLE A.⁷

¹ IGE, CNRS/UGA/IRD/Grenoble INP – Grenoble – France, nathalie.philippon@univ-grenoble-alpes.fr, sylvain.bigot@univ-grenoble-alpes.fr

² F&S, CIRAD – Montpellier – France, guillaume.cornu@cirad.fr, valery.gond@cirad.fr, charles.doumenge@cirad.fr

³ Département de Géographie, Université Laval – Québec – Canada, lou.monteil.1@ulaval.ca

⁴ CEREGE, CNRS/AMU/IRD – Aix en Provence – France, moron@cerege.fr

⁵ CRC, BIOGEOSCIENCES, CNRS/UB – Dijon – France, julien.pergaud@u-bourgogne.fr, pierre.camberlin@u-bourgogne.fr

⁶ LMD, CNRS/UPMC – Paris – France, genevieve.seze@lmd.jussieu.fr

⁷ AgroBioTech – Gembloux – Belgique, adeline.fayolle@ulg.ac.be

Résumé : Les conditions d'éclairement prévalant en Afrique Centrale et leur impact potentiel sur les traits et le fonctionnement des forêts ont été peu étudiés. S'appuyant sur des estimations satellitaires horaires de rayonnement solaire incident, et tenant compte des interactions d'échelles entre cycle diurne et cycle saisonnier, nous montrons que le Gabon se démarque des autres parties d'Afrique Centrale par une saison sèche principale très déficitaire en lumière. En parallèle, une carte des forêts développée par le CIRAD montre que la plupart des forêts sempervirentes d'Afrique Centrale se localisent au Gabon. Nous postulons que le climat du Gabon peut abriter ces forêts en raison de la forte nébulosité qui s'y développe, réduisant la demande en eau mais aussi le ratio rayonnement direct / rayonnement diffus, favorable à la photosynthèse. Ces résultats et la méthodologie développée ouvrent la voie à de futures analyses sur les changements passés et futurs des climats sombres de la façade Atlantique de l'Afrique Centrale, et la vulnérabilité des forêts sempervirentes à ces changements.

Mots-Clés : rayonnement solaire, cycles diurnes, Afrique Centrale, forêts.

Abstract: *Diurnal cycles of solar radiation and forests evergreenness in Central Africa.* The sunlight conditions prevailing in Central Africa, and their potential impact on forests traits and functioning, have never been fully explored. Using satellite estimates documenting mostly the period 2005-2013, and accounting for scale interactions between the diurnal and annual cycles, we demonstrate that the seasonality of sunlight levels strongly vary across Central Africa forests. Gabon stands out with a main dry season strongly light-deficient, cool and moist. An original map of terra firme forest types developed by CIRAD shows that most of the evergreen forests of Central Africa develop in Gabon. We postulate that despite a mean annual precipitation amount below 2000 mm/yr, the Gabonese climate can harbor most of the evergreen forests of Central Africa because of a heavy cloudiness which reduces the water demand and decreases the direct to diffuse light ratio. These findings and the methodology developed pave the way for further analyses of the past and future changes in the light-deficient climates of Western Central Africa and the vulnerability of the evergreen forests to these changes.

Keywords: solar radiation, diurnal cycles, Central Africa, forests.

Introduction

Les conditions climatiques sous lesquelles croissent les forêts d'Afrique Centrale sont encore mal connues car l'Afrique Centrale est l'une des régions climatiques les moins étudiées au monde. Son climat est perçu comme relativement uniforme avec de faibles gradients de précipitations, de même que ses forêts labellisées comme « forêts denses humides » à travers l'ensemble du bloc forestier (Verhegghen *et al.*, 2012). La distribution spatiale des pluies et leur évolution au cours du cycle annuel sont reconnues comme le principal facteur explicatif des variations spatiales et saisonnières de l'activité photosynthétique des forêts (Gond *et al.* 2013 ; Guan *et al.*, 2014). Cependant, des études récentes suggèrent que la disponibilité en lumière pourrait être contraignante durant certaines phases du cycle annuel (Guan *et al.*, 2013 ; Philippon *et al.* 2016). Or, aucune analyse des

conditions de luminosité qui prévalent en Afrique Centrale n'a encore été proposée. Dans cette étude nous essayons de répondre aux deux questions suivantes : quelles disparités observe-t-on dans le niveau de rayonnement solaire incident à travers le massif forestier d'Afrique Centrale ? En quoi ces disparités peuvent expliquer les disparités observées dans le type de forêts et en particulier les niveaux de décadence ?

1. Données et méthodes

Pour répondre à ces questions nous analysons un ensemble de données climatiques à haute résolution temporelle. Ce sont principalement des estimations satellitaires infra-journalières issues du satellite géostationnaire Météosat Seconde Génération, de :

- rayonnement solaire incident issues de la base SARAH-V1 du CMSAF (Müller *et al.*, 2015) ; elles documentent la période 2005-2013 au pas de temps horaire et à la résolution spatiale de 0,05°.
- nébulosité issues de la classification nuageuse du SAFNWC (Derrien et Le Gléau, 2005) ; elles couvrent la période 2009-2014, au pas de temps quart-horaire et à la résolution spatiale de 3 km.
- précipitations issues de la base TRMM v3B42 (Huffman *et al.*, 2007) ; elles couvrent la période 1998-2014, au pas de temps tri-horaire et à la résolution spatiale de 0,25°.

Ces données sont complétées par des données journalières à mensuelles de température (Berkeley Earth Temperature Study, Rohde *et al.*, 2013), d'humidité relative (projet Vmerge), d'évapo-transpiration potentielle (CGIAR, Zomer *et al.*, 2006), ainsi que des estimations bi-mensuelles d'activité photosynthétique (données MODIS, Huete *et al.*, 2002). L'ensemble des données est agrégé à la résolution spatiale de 0,25° et un masque est appliqué afin de ne conserver que les pixels dont 50 % de la superficie est couverte par de la forêt.

Les disparités dans le rayonnement solaire incident au cours du cycle annuel et à travers l'Afrique Centrale sont analysées en prenant en compte les interactions entre l'échelle diurne et l'échelle saisonnière. Pour cela, nous extrayons tout d'abord les principaux types de cycles diurnes de rayonnement par une méthode de classification en K-Means. Ensuite, pour chaque pixel nous calculons la fréquence d'apparition de ces grands types au cours du cycle annuel et appliquons à nouveau une classification en K-Means afin de regrouper les pixels présentant des cycles annuels similaires. Ceci nous permet d'extraire des entités climatiques spécifiques au sein de l'Afrique Centrale.

2. Variations diurnes de rayonnement solaire incident

Les variations diurnes de rayonnement solaire incident en Afrique Centrale peuvent être synthétisées en 4 grands types (figure 1) : (a) les jours « obscurs » – valeurs horaires de rayonnement inférieures à 150 W/m², importante couverture de nuages bas à très hauts opaques et précipitations d'~4 mm/h de minuit à midi – (b) les jours obscurs le matin (obscur « PM ») – maximum de rayonnement d'~500 W/m² vers 14LT, importante couverture nuageuse le matin constituée de nuages bas à moyens, faibles précipitations – (c) les jours obscurs l'après-midi (obscur « AM ») – importante couverture nuageuse de type convectif et précipitations intenses supérieures à 7 mm/h, dans l'après-midi – et (d) les jours « lumineux » caractérisés par des ciels clairs et peu ou pas de précipitations.

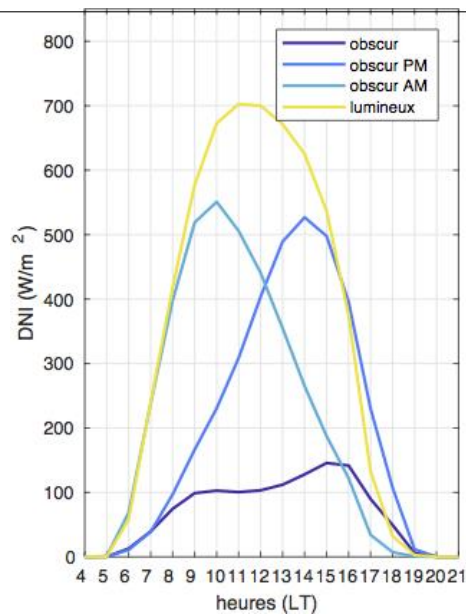


Figure 1. Les 4 types de cycles diurnes de rayonnement solaire extraits pour l'Afrique Centrale.

3. Variations saisonnières et spatiales du rayonnement solaire incident

Il existe d'importantes variations spatiales et au cours du cycle annuel dans la fréquence de ces 4 types de jours (figure 2). Six sous-régions climatiques sont identifiées (figure 2, panel gauche) : le sud-ouest du Gabon, le Cameroun, sur la façade Atlantique de l'Afrique Centrale, le sud, le centre et le nord de la République Démocratique du Congo et enfin une région comprenant l'intervalle de la Shanga (entre Cameroun et nord RDC) et le piémont du rift africain (nord-est de la RDC).

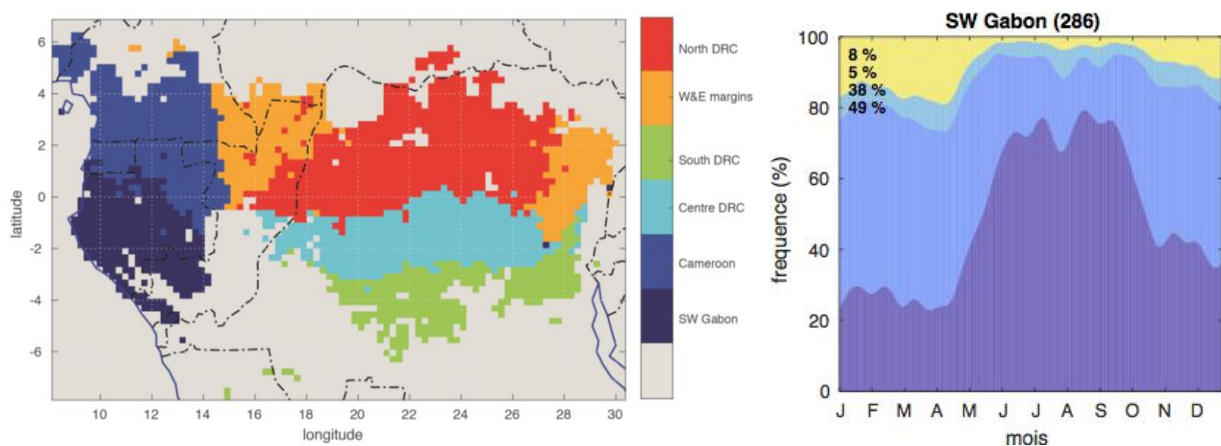


Figure 2. Régionalisation climatique de l'Afrique Centrale (panel gauche) sur la base du cycle annuel de la fréquence des 4 cycles diurnes de rayonnement solaire (panel droit, exemple de la sous région « SW Gabon »). En gras la fréquence moyenne des 4 types de cycles diurnes de rayonnement au cours du cycle annuel.

La région gabonaise se démarque très nettement des autres régions avec des fréquences de jours obscurs et obscurs le matin très élevées au cours du cycle annuel (supérieures à 81 %), et plus de 70 % de jours obscurs de juin à septembre (JJAS) (figure 2, panel droit). Ainsi les forêts du Gabon croissent sous les plus faibles niveaux de rayonnement solaire incident d'Afrique Centrale (moyenne annuelle $\sim 109 \text{ W/m}^2$ et inférieur à 80 W/m^2 en JJAS). Elles connaissent également la saison sèche la plus longue avec les plus faibles cumuls de précipitations : moins d'1 mm/jour en juillet-août, avec une majorité de jours secs notamment les jours obscurs. Les températures minimales et maximales sont également plus faibles et

l'humidité relative plus élevée durant cette saison sèche que dans les régions plus à l'est. Ainsi globalement la façade Atlantique de l'Afrique Centrale se caractérise par une saison sèche principale déficitaire en rayonnement solaire alors que plus à l'est, la saison sèche principale est la plus lumineuse et la plus chaude. Cette particularité tient à la présence de stratus opaques, très fréquents en JJAS (Dommo *et al.*, 2018), qui bloquent le rayonnement solaire incident et sont non précipitants.

4. Liens avec les traits des forêts

Les 6 régions climatiques identifiées sont croisées avec une nouvelle cartographie des forêts, développée indépendamment et basée sur les cycles annuels d'activité photosynthétique (données MODIS), des inventaires forestiers et des cartes phytogéographiques. Neufs types différents de forêts sont discriminés (figure 3a) et qui diffèrent en termes de fonctionnement, structure (dense / dégradée / secondaire) et composition (sempervirentes / semi-décidues / décidues). La distribution spatiale de ces 9 types de forêts est en bonne adéquation avec la régionalisation climatique opérée (figure 3b). En particulier, le Gabon avec sa saison sèche sombre et fraîche abrite les forêts les plus denses et sempervirentes (types 1 et 3) de l'Afrique Centrale.

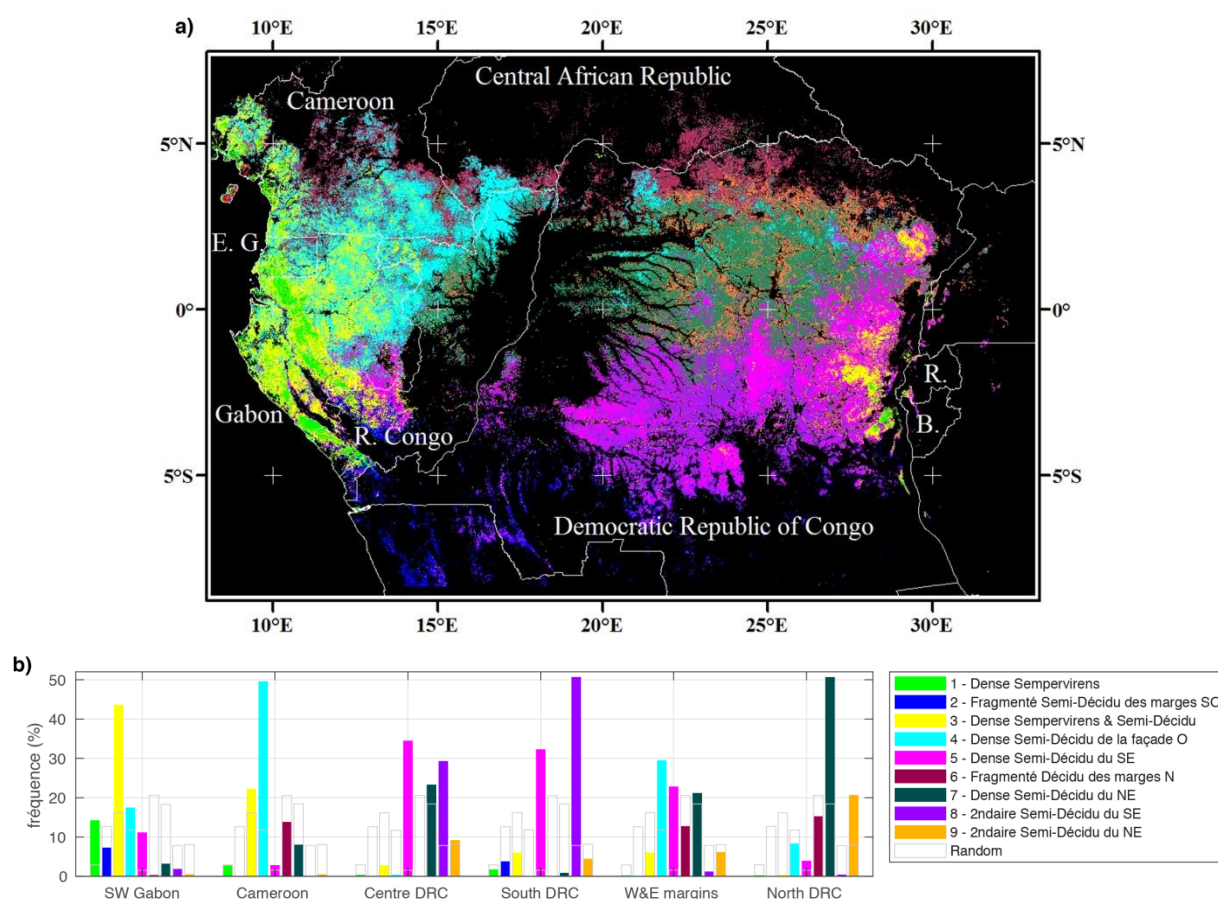


Figure 3. Répartition spatiale des 9 types de forêts (panel a et légende en panel b) discriminés sur la base de leur cycle annuel moyen d'activité photosynthétique (EVI MODIS), et leur fréquence d'occurrence (panel b) au sein des 6 régions climatiques identifiées (cf. figure 2).

Conclusion

Dans cette étude nous proposons une régionalisation climatique de l'Afrique Centrale en 6 régions en bonne adéquation avec les traits et le fonctionnement des forêts. Il est assez remarquable que bien que basée sur les cycles diurnes de rayonnement, cette régionalisation

fait également ressortir des cycles annuels moyens de précipitations, température, ETP très différents entre les régions. Le rayonnement solaire incident est donc une variable particulièrement intégrative qui mérite d'être plus souvent étudiée et prise en compte dans les analyses climatologiques, et qui est en outre plus facile à analyser que la nébulosité ou les précipitations qui sont des variables discrètes.

Remerciement : cette étude a été soutenue par le CNES (projets TOSCA VEGREENE et WaTFor), et l'INSU (projet LEFE-IMAGO DiCy-CA). Elle s'inscrit dans les activités du Laboratoire Mixte International DYCOFAC.

Bibliographie

- Derrien M., and Le Gléau H., 2005. MSG/SEVIRI cloud mask and type from SAFNWC. *Int. J. Remote Sens.*, **26**, 4707–32.
- Dommo A., Philippon N., Vondou D., Sèze G., Eastman R., 2018. The June-September low cloud cover in Western Central Africa : mean spatial distribution and diurnal evolution, and associated atmospheric dynamics. *J. Clim.*, *Accepté pour publication*.
- Gond V., Fayolle A., Pennec A., Cornu G., Mayaux P., Camberlin P., Doumenge C., Fauvet N., Gourlet-Fleury S., 2013. Vegetation structure and greenness in Central Africa from Modis multi-temporal data. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.*, **368**, 20120309.
- Guan K., Wolf A., Medvigy D., Caylor K. K., Pan M., Wood E. F., 2013. Seasonal coupling of canopy structure and function in African tropical forests and its environmental controls. *Ecosphere*, **4**, 1–21.
- Guan K., Wood E. F., Medvigy D., Kimball J., Pan M., Caylor K. K., Sheffield J., Xu X., Jones M. O., 2014. Terrestrial hydrological controls on land surface phenology of African savannas and woodlands. *J. Geophys. Res. Biogeosciences*, **119**, 1652–69.
- Huete A., Didan K., Miura T., Rodriguez E.P., Gao X., Ferreira L. G., 2002. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices. *Remote Sens. Environ.*, **83**, 195–213.
- Huffman G.J., Adler R.F., Bolvin D.T., Gu G., Nelkin E.J., Bowman K.P., Hong Y., Stocker E.F. and Wolff D.B. 2007. The TRMM multi-satellite precipitation analysis: Quasi-global, multi-year, combined-sensor precipitation estimates at fine scale. *J. Hydrometeorol.*, **8**, 38–55.
- Müller R., Pfeifroth U., Träger-Chatterjee C., Trentmann J., Cremer R. 2015. Digging the METEOSAT treasure – 3 decades of solar surface radiation. *Remote Sens.*, **7**, 8067-8101.
- Philippon N., De Lapparent B., Gond V., Sèze G., Martiny N., Camberlin P., Cornu G., Morel B., Moron V., Bigot S., Brou T., Dubreuil V., 2016. Analysis of the diurnal cycles for a better understanding of the mean annual cycle of forests greenness in Central Africa. *Agric. For. Meteorol.*, **223**, 81–94.
- Rohde R., Muller R., Jacobsen R., Perlmutter S. and Mosher S. 2013. Berkeley Earth Temperature Averaging Process. *Geoinfor. Geostat. : An Overview*, **1**, 2-13.
- Verhegghen A., Mayaux P., Wasseige C. and Defourny P. 2012. Mapping Congo Basin forest types from 300 m and 1 km multi-sensor time series for carbon stocks and forest areas estimation. *Biogeosciences Discuss.*, **9**, 7499–553.
- Zomer R.J., Trabucco A., Van Straaten O. and Bossio D. 2006. *Carbon, Land and Water: A Global Analysis of the Hydrologic Dimensions of Climate Change Mitigation through Afforestation/Reforestation*. International Water Management Institute Research Report 101, 44p.